

Evaluasi Pengujian Parameter Listrik pada Pembangkit Listrik Berbasis Water Wheel Turbine

Zulkiffli Saleh

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

e-mail: zulkiiflisaleh@ft.umpalembang.ac.id

ABSTRAK

Energi listrik menjadi kebutuhan dasar atau pokok masyarakat sehingga berpengaruh terhadap kemajuan suatu daerah. Setiap tahun kebutuhan akan energi listrik terus meningkat namun tidak diimbangi dengan penyediaan energi listrik baru maupun terbarukan. Banyak daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik dari pemerintah, padahal di daerah-daerah tersebut masih banyak sekali potensi untuk dibuat pembangkit listrik. Pemenuhan daya listrik tersebut bersumber dari berbagai skala dan segmentasi pembangkitan, salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). *Water wheel turbine* adalah salah satu instalasi PLTMH yang memanfaatkan tinggi jatuh air dan jumlah debit tertentu. Proses pembangkitan daya dimulai dari kecepatan dan tekanan air karena berada pada ketinggian yang mengalir melalui ruang diantara sudu-sudu turbin, aliran air ini untuk memutar poros turbin, kecepatan putaran poros turbin yang dihasilkan bergantung pada jumlah debit dan tinggi jatuhnya air, semakin besar debit dan semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar pula nilai kecepatan putaran poros turbin. Putaran poros turbin ini dihubungkan dengan generator menggunakan *v-belt* sehingga poros generator berputar dan menghasilkan energi listrik.

Kata kunci : Debit, Head, Water Wheel Turbine, Arus, Tegangan, Frekuensi.

Pendahuluan

Sebagian besar aktifitas kehidupan memerlukan pasokan daya listrik. Pemenuhan daya listrik tersebut bersumber dari berbagai skala dan segmentasi pembangkitan, sehingga bentukan energi primer semakin tahun terus menurun, indikasi tersebut dibarengi dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Setiap tahun kebutuhan akan energi listrik terus meningkat akan tetapi belum diimbangi dengan penyediaan sumber-sumber energi listrik baru maupun terbarukan, bahkan masih banyak daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik, sedangkan di daerah-daerah tersebut masih banyak sekali potensi untuk dibuat pembangkit listrik seperti mikrohidro. Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik salah satunya adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dan instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggian dari aliran air, maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik (Suyanto, 2013).

Kandungan energi yang dimiliki oleh air yang mengalir dari ketinggian tertentu dan juga jumlah tertentu bisa dimanfaatkan sebagai energi mekanis. Salah satu contoh alat konversi energi air menjadi energi mekanik adalah energi air, energi mekanik pada turbin air dapat diubah menjadi energi listrik yang merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (Erhaneli & Rutaf, 2013).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah suatu instalasi pembangkit listrik dengan kapasitas kurang dari 200kW yang memanfaatkan potensi aliran air sebagai penghasil sumber energi terbarukan dan layak disebut *cleanenergy* karena ramah lingkungan. Tenaga aliran air yang dapat digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai atau terjunan air. Dalam pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. PLTMH pada umumnya adalah pembangkit listrik tenaga air *run-of river* dengan *head* diperoleh tidak dengan cara

membangun bendungan yang besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke sisi lain sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama.

Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan potensi energi aliran air dengan tinggi jatuh (H) dan jumlah debit air (Q) tertentu untuk menghasilkan daya listrik, melalui pipa pesat air diterjunkan untuk memutar poros turbin yang berada di dalam rumah pembangkit. Daya listrik terjadi akibat aliran air bertekanan yang mengalir melalui ruang diantara sudu-sudu turbin. Putaran poros turbin ini dikopel atau dihubungkan dengan generator menggunakan *v-belt* sehingga poros generator berputar dan menghasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan dialirkan melalui kabel listrik ke rumah-rumah penduduk atau konsumen (Damastuti A. P., 1997).

Perhitungan potensi daya keluaran air/daya *available* (Aslimeri & Candra, 2014) adalah sebagai berikut,

$$Q = v \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \text{ (W)}$$

dengan,

$$P = \text{daya air (W)}$$

$$= \text{massa jenis air} = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{debit (m}^3\text{/s)}$$

$$H = \text{head (m)}$$

$$= \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$v = \text{kecepatan air (m/s)}$$

$$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

Perhitungan potensi daya keluaran turbin adalah (Yusri, Roswaldi, & Asmed, 2011) sebagai berikut,

$$P = P_t \cdot \eta_g \text{ (W)}$$

$$P = P_a \cdot \eta_t \text{ (W)}$$

dengan,

$$P = \text{daya turbin (W)}$$

$$P = \text{daya listrik (W)}$$

$$P = \text{daya air (W)}$$

$$\eta_t = \text{efisiensi turbin (\%)}$$

$$\eta_g = \text{efisiensi generator (\%)}$$

Water wheel turbine bekerja memanfaatkan tinggi jatuh air dan kapasitas air. Faktor yang harus diperhatikan selain energi potensial adalah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke dalam sudu-sudu. Tinggi jatuh air yang biasa digunakan turbin ini antara 1 m sampai dengan 12 m dan debit airnya adalah 0,05 m³/s sampai dengan 5 m³/s. *Water wheel* dengan kecepatan putaran pelan maka bahannya dapat dibuat dari kayu, tetapi apabila kecepatan putaran tinggi dan jatuhnya air yang tinggi maka sudunya dibuat dari besi. (Wibawa, Santoso, & Dharmayana, 2014).

Ada beberapa tipe *water wheel turbine* yaitu,

a. Kincir air *overshot*

Kincir air *overshot* bekerja bila air mengalir kedalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar, kincir air ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air lainnya.

b. kincir air *undershot*

Kincir air *undershot* bekerja bila air mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe ini disebut juga dengan "*vitruvian*". Aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata.

c. kincir air *breastshot*

Kincir air *breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya.

Besaran nilai arus listrik

Arus merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yang mengalir dalam satuan waktu dengan simbol *i* atau dengan kata lain arus adalah muatan yang bergerak.

Selama muatan bergerak maka akan muncul arus tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus ikut menghilang.

Secara matematis arus listrik (Ramdhani, 2008) didefinisikan :

$$i = \frac{Q}{t}$$

dengan,

i = arus listrik (A)

Q = muatan konstan

t = muatan tergantung satuan waktu

Pengertian diatas dapat dipersingkat bahwa tegangan adalah energi persatuan muatan. Satuan tegangan adalah Volt (V).

Secara matematis tegangan didefinisikan, (Ramdhani, 2008), sebagai berikut,

$$V = \frac{W}{Q}$$

dengan,

V = tegangan (V)

W = satuan energi

Besaran nilai daya listrik

Pengertian daya dalam sistem tenaga listrik adalah jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Satuan daya adalah Watt (W) yang merupakan perkalian dari tegangan (V) dan arus (A). Perhitungan daya listrik adalah (Ramdhani, 2008) sebagai berikut,

$$P = V \cdot i$$

dengan,

P = daya listrik (W)

V = tegangan (V)

i = arus listrik (A)

Frekuensi adalah jumlah getaran dalam satuan waktu yang diberikan, untuk menghitung frekuensi, hasil perhitungan ini dinyatakan dalam satuan *hertz* (H). Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

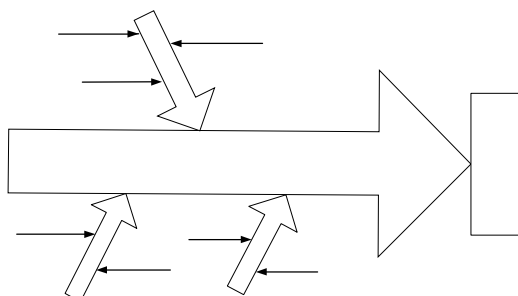
dengan,

f = frekuensi (H)

T = periode (detik)

Metode Penelitian

Beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan dalam penyusunan tahapan penelitian adalah berupa parameter yang berkaitan erat dengan daya keluaran sistem. Langkah pelaksanaan penelitian digambarkan dalam bentuk *fishbone* dibawah ini.



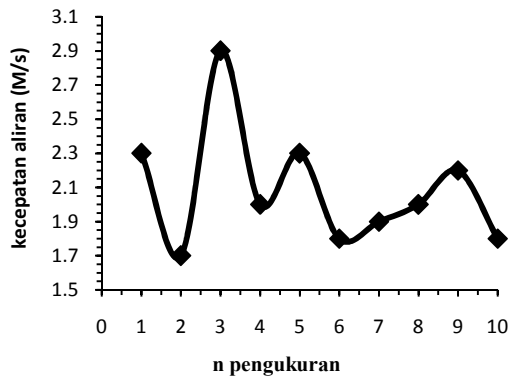
Gambar 1. *Fishbone* diagram penelitian

Rangkaian pengumpulan data dengan terapan pengukuran berulang pada objek, selanjutnya dilakukan verifikasi dan validasi data untuk menghindari falsifikasi data pada objek. Pengumpulan data difokuskan pada berbagai parameter yang sangat berkaitan erat dengan daya keluaran sistem.

Data dan analisis

Data pada saluran pembawa

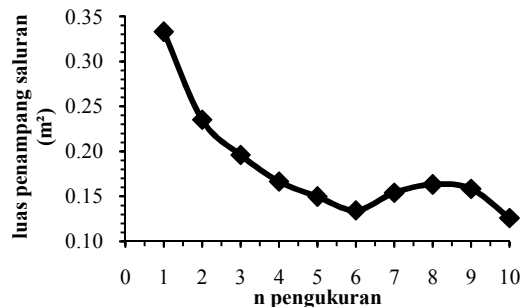
Pengukuran kecepatan aliran air diambil dari data pengukuran disepanjang saluran pembawa dengan menggunakan alat ukur *current meter*, panjang saluran pembawa adalah 4,37 meter dengan pengukuran dilakukan pada 10 titik.



Gambar 2. Grafik data pengukuran kecepatan aliran pada saluran pembawa

Nilai kecepatan aliran terbesar dari hasil pengukuran sebesar 2,9 m/s, namun nilai kecepatan aliran terendah sebesar 1,7 m/s. Jumlah keseluruhan data dari hasil pengukuran pada 10 titik yaitu 20,9 m/s, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai rerata dari jumlah keseluruhan data pengukuran dan didapat nilai rerata yaitu 2,09 (m/s).

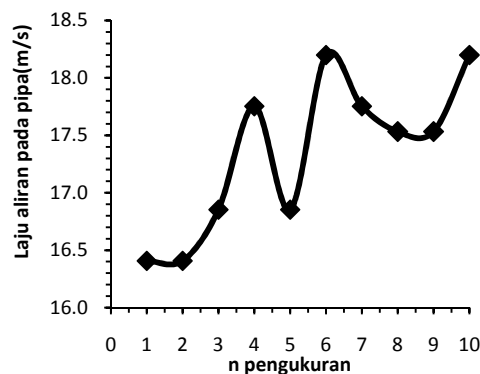
Luas penampang didapat dari perkalian lebar saluran dan kedalaman saluran. Luas penampang merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh untuk mendapatkan nilai besaran debit. Data lebar saluran dan kedalaman saluran pembawa ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut,



Gambar 3. Grafik data perhitungan luas penampang saluran pembawa

Hasil perhitungan tersebut menyatakan bahwa fluktuatif data luas penampang saluran pembawa bersinggungan dengan lebar dan kedalaman saluran. Jumlah keseluruhan data dari hasil perhitungan yaitu 1,8164 (m), setelahnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari jumlah keseluruhan data perhitungan luas penampang dan didapatkan nilai rerata yaitu 0,18164 (m).

Data aliran pada ujung pipa pesat



Gambar 4. Grafik data pengukuran kecepatan aliran pada ujung pipa

Nilai kecepatan aliran terbesar dari hasil pengukuran sebesar 18,1975 m/s, namun nilai kecepatan aliran terendah sebesar 16,4074 m/s. Jumlah keseluruhan data dari hasil 10 kali pengukuran yaitu 173,4815 m/s, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai rerata kecepatan aliran dari jumlah keseluruhan data 10 kali pengukuran dan didapatkan nilai rerata yaitu 17,3482 m/s.

Ujung pipa pesat yang digunakan untuk penelitian skripsi ini berdiameter 4 inci, maka didapat luas pipa dalam meter sebagai berikut,

$$A = \pi r$$

dengan,

$$D = 4 \text{ inci} = 0,1016 \text{ m}$$

$$r = \frac{1}{2} D$$

$$r = \frac{1}{2} \cdot 0,1016 = 0,0508$$

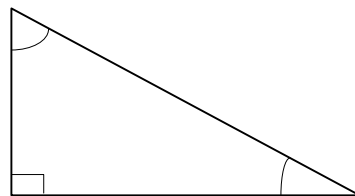
maka,

$$A = 3,14 \cdot 0,0508^2$$

$$A = 0,0081 \text{ m}^2$$

Luas penampang pada ujung pipa pesat sebesar 0,0081 m².

Tinggi jatuh efektif



Gambar 5. Kemiringan (*slope*) tinggi jatuh aliran air dengan,

$$a = 26 \text{ m}$$

$$b = 11,5 \text{ m}$$

$$= = 90^\circ$$

$$= = ?$$

$$= = ?$$

slope,

$$a = b + c$$

$$c = a - b$$

$$c = 26 - 11,5$$

$$c = 543,75$$

$$c = \sqrt{543,75}$$

$$c = 23,32 \text{ m}$$

Panjang ketiga sisi telah diketahui, maka dapat dicari sudut jatuhnya aliran air dan sudut masuknya aliran air ke turbin, digunakan rumus

untuk sudut ,

$$\sin = 11,5/26$$

$$\sin = 0,4423$$

$$= \sin 0,4423$$

$$= 26,25^\circ$$

Untuk sudut ,

$$\sin = 23,32/26$$

$$\sin = 0,8969$$

$$= \sin 0,8969$$

$$= 63,75^\circ$$

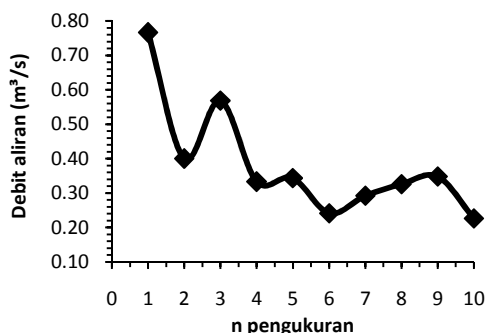
maka tinggi jatuh efektif aliran adalah 11,5 meter dengan panjang pipa pesat 26 meter dan jarak horizontal adalah 23,32 meter. Sudut jatuhnya aliran air sebesar 63,75°, sedangkan sudut masuknya aliran air ke turbin sebesar 26,25°.

Debit aliran saluran pembawa

Perhitungan besaran debit aliran disetiap titik pengukuran kecepatan aliran dan luas penampang didapat dengan rumus,

$$Q = v \cdot A$$

Hasil perhitungan potensi debit aliran pada saluran pembawa dari titik 1 sampai titik 10 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut,



Gambar 6. Grafik data perhitungan debit aliran pada saluran pembawa

Besaran debit bervariasi, dengan perhitungan data debit yang dilakukan pada 10 titik pengukuran mendapatkan nilai terbesar yang terpantau dititik 1 dengan kecepatan aliran 2,3 m/s dan luas penampang 0,333 m² sebesar 0,7659 m³/s, sedangkan perhitungan debit aliran terendah terdapat dititik 10 dengan kecepatan aliran 1,8 m/s dan luas penampang 0,126 m² sebesar 0,2268 m³/s. Jumlah keseluruhan data debit aliran dari hasil perhitungan ke 10 titik yaitu 3,8476 m³/s, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari rerata dari jumlah keseluruhan data debit aliran dan didapatkan rerata debit aliran sebesar 0,3848 m³/s.

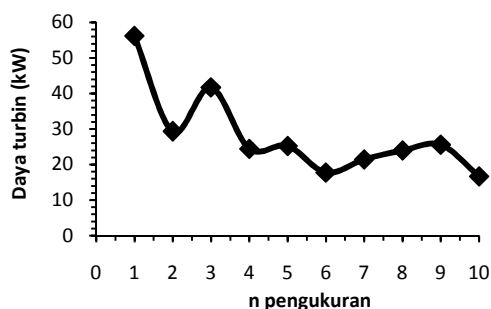
Potensi daya keluaran turbin

Efisiensi turbin memiliki nilai rentang antar 65% sampai 80%, tetapi dalam perhitungan ini memakai nilai efisiensi turbin sebesar 65% atau 0,65.

Debit aliran dan tinggi jatuh air telah diketahui dari perhitungan sebelumnya, maka daya keluaran turbin dapat dihitung untuk setiap titik pengukuran yaitu :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Hasil perhitungan daya keluaran turbin dari titik 1 sampai titik 10 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut,



Gambar 7. Grafik data perhitungan daya keluaran turbin

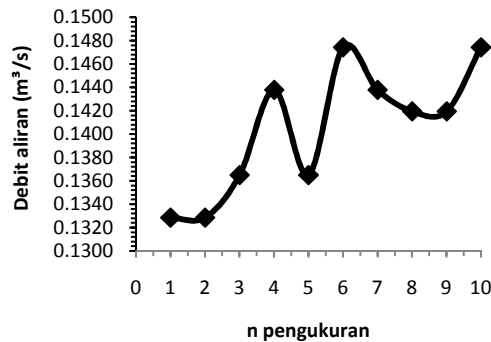
Perhitungan data daya keluaran turbin yang dilakukan pada 10 titik pengukuran mendapatkan daya terbesar yang terpantau dititik 1 dengan debit aliran sebesar 0,7659 m³/s menghasilkan daya sebesar 56,16 kW, sedangkan perhitungan daya keluaran turbin terendah terdapat dititik 10 dengan debit aliran sebesar 0,2268 m³/s mampu menghasilkan daya sebesar 16,63 kW. Jumlah keseluruhan data daya keluaran turbin dari hasil perhitungan ke 10 titik sebesar 282,15 kW selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari rerata dari jumlah keseluruhan data dan didapatkan potensi rerata daya keluaran turbin mencapai 28,215 kW. Hasil perhitungan mampu menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran maka semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan turbin.

Debit aliran pada ujung pipa pesat

Rumus perhitungan debit aliran pada ujung pipa pesat yang berdiameter 4 inci sebagai berikut:

$$Q = v \cdot A$$

Hasil perhitungan debit aliran pada ujung pipa pesat yang dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut,



Gambar 8. Grafik data perhitungan debit aliran pada ujung pipa pesat

Besaran debit bervariasi, dengan perhitungan data debit yang dilakukan pada 10 kali pengukuran mendapatkan nilai terbesar yang terpantau dititik 10 dan titik 6 dengan kecepatan aliran 18,1975 m/s dan luas pipa 0,0081 m² sebesar 0,1474 m³/s, sedangkan perhitungan debit aliran terendah terdapat dititik 1 dan 2 dengan kecepatan aliran 16,4074 m/s dan luas pipa 0,0081 m² sebesar 0,1329 m³/s. Jumlah keseluruhan data debit aliran dari hasil perhitungan ke 10 kali pengukuran yaitu 1,4052 m³/s, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari rerata dari jumlah keseluruhan data debit aliran dan didapatkan rerata debit aliran pada ujung pipa pesat sebesar 0,14052 m³/s.

Daya keluaran generator

Prediksi daya pada ujung pipa pesat (curat) terendah adalah sebesar 9,75 kW. Pemanfaatan potensi tergantung dari kapasitas sistem PLTMH sebesar 5 kW, dengan asumsi bahwa nilai efisiensi generator sebesar 65% atau 0,65. Perhitungan dilakukan dengan rumus,

$$P = P \cdot \eta$$

$$P = 9,75 \cdot 0,65$$

$$P = 6,34 \text{ (kW)}$$

Perhitungan daya terhadap beban

Jumlah rumah dalam penggunaan daya generator 5 kW sebanyak 24 rumah. Kebutuhan rerata daya yang digunakan per satu rumah ditampilkan dalam bentuk tabel berikut,

Tabel 1. Penggunaan daya listrik

Pemakaian	Titik	Daya per titik	Jumlah rumah	Daya yang digunakan
Penerangan	5	25	24	3000
Televisi	1	75	20	1500

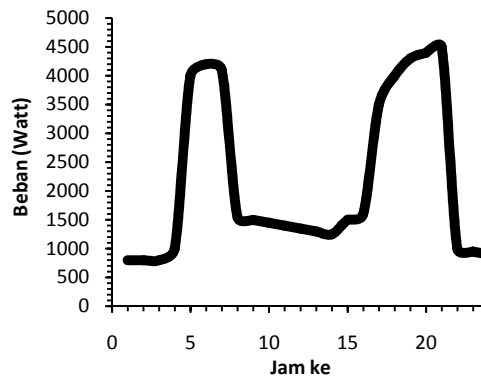
Tabel 1. menunjukkan penggunaan daya listrik. Berdasarkan jumlah keseluruhan daya yang dipakai maka dapat dihitung rerata setiap rumah yang akan menerima suplai daya listrik. Jumlah keseluruhan daya yang di pakai dibagi jumlah keseluruhan rumah.

$$P = 4500/24$$

$$P = 187,5 \text{ Watt}$$

Ketersediaan daya terbangkitkan pada *water wheel turbine* sebesar 5000 W, dan jumlah keseluruhan daya yang digunakan 4500 W, maka daya yang terbangkitkan masih mencukupi untuk kebutuhan 24 rumah.

Pemakaian daya listrik pada 24 rumah adalah data hasil survei yang dilakukan selama 24 jam dalam satu hari. Kurva beban per jam ditampilkan dalam bentuk grafik, sebagai berikut :



Gambar 9. Grafik data pengukuran kurva beban daya per jam.

Gambar 9 memperlihatkan data pengukuran kurva beban daya per jam. Hasil dari pengukuran data tersebut menyatakan bahwa fluktuatif data kurva beban. Penggunaan daya dalam satu hari dihitung per jam dengan kurva berbeda-beda, titik puncak penggunaan daya berada dijam 21.00 WIB sebesar 4500 W, sedangkan titik terendah dalam penggunaan daya berada dijam 01.00 WIB, jam 02.00 WIB, dan jam 03.00 WIB sebesar 800 W. Jumlah keseluruhan daya yang digunakan dari hasil pengukuran per jam dalam satu hari yaitu 52150 W, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan rerata daya yang digunakan dalam satu hari, dan didapatkan rerata daya sebesar 2172,92 W.

Kesimpulan

Perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Perhitungan potensi daya turbin pada saluran pembawa mampu mencapai 28,215 kW, tetapi daya yang ada pada ujung pipa pesat berdiameter 4 inci sebesar 9,75 kW dapat menghasilkan daya output 6,34 kW.
2. Kapasitas daya generator sebesar 5 kW dengan jumlah keseluruhan daya yang dipakai untuk 24 rumah mencapai 4,5 kW dan rerata pemakaian untuk 1 rumah adalah 187,5 W.
3. Daya yang terbangkitkan masih mencukupi untuk kebutuhan 24 rumah dengan sisa daya 0,5 kW.

Daftar Pustaka

- Aslimeri, & Candra, O. (2014). Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pasca Gempa Bumi 30-9-2009 di Kabupaten Pasaman Barat Provinsi Sumatera Sealatan. *APTEKINDO* (pp. 161-166). Bandung: FPTK Universitas Pendidikan Indonesia.
- Damastuti, A. P. (1997). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Wacana No. 8*, 11-12.
- Damastuti, Anya P. (1997). Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Wacana No. 8*, 11-12.
- Erhaneli, & Rutaf, F. (2013). Pembangkit Tenaga Listrik Minihidro di Desa Guguak Amoek Kandang Kecamatan 2X11 Kayu Tanam Kabupaten Padang Pariaman. *teknik Elektro volume 2*, 29-34.
- Kusdiana, D., Sitompul, A., & Saptono, A. (2008). *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jakarta: Direktorat jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Alam.
- Ramdhani, M. (2008). *Rangkaian Listrik*. Bandung: Erlangga.
- Sutrisno. (1996). *Fisika Dasar*. Bandung: ITB.
- Suyanto, M. (2013). Perbandingan Peningkatan Daya Terpasang pada Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) di Daerah Wukisari Imogiri Bantul Jogjakarta. *Membangun Kemandirian Teknologi Untuk Memperkuat Daya Saing Bangsa* (pp. 1-7). Jogjakarta: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Jogjakarta.
- Wibawa, U., Santoso, H., & Dharmayana. (2014). Perancangan Kincir Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Bendosari Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. *Jurnal Elektro, Vol 7, No 1*, 45-58.

Yusri, Roswaldi, & Asmed. (2011). Rekayasa Turbin Air Jenis Cross flow sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Jorong Lubuk Salasih, Kecamatan Gunung Talang, Kabupateen Solok. *Teknik Mesin Vol. 8 No. 2* , 72-77.